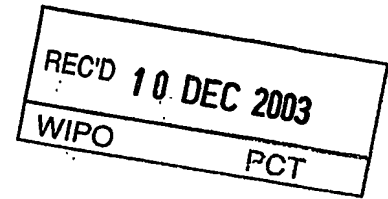


# BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



## Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

**Aktenzeichen:** 102 58 860.0

**Anmeldetag:** 17. Dezember 2002

**Anmelder/Inhaber:** ROBERT BOSCH GMBH, Stuttgart/DE

**Bezeichnung:** Magneto-resistives Schichtsystem und Sensorelement  
mit diesem Schichtsystem

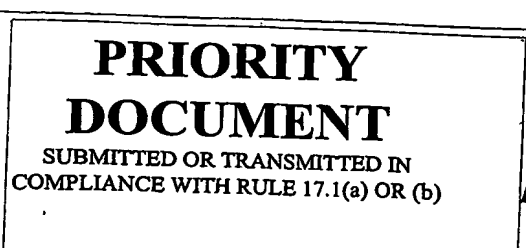
**IPC:** H 01 L 43/08

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 13. November 2003  
Deutsches Patent- und Markenamt  
Der Präsident  
Im Auftrag

  
Hoh

BEST AVAILABLE COPY



BEST AVAILABLE COPY

24.10.02 Kut/Kei

ROBERT BOSCH GMBH, 70442 Stuttgart

5

Magnetoresistives Schichtsystem und Sensorelement mit diesem Schichtsystem

10

Die Erfindung betrifft ein magnetoresistives Schichtsystem sowie ein Sensorelement mit diesem Schichtsystem nach den unabhängigen Ansprüchen.

Stand der Technik

15

Aus dem Stand der Technik sind magnetoresistive Schichtsysteme bzw. entsprechende Sensorelemente beispielsweise für den Einsatz in Kraftfahrzeugen bekannt, bei denen der Arbeitspunkt durch Hilfsmagnetfelder verschoben werden kann. Insbesondere ist die Erzeugung eines Hilfsmagnetfeldes durch montierte makroskopische Hartmagnete oder stromdurchflossene Feldspulen bekannt.

20

In DE 101 28 135.8 wird daneben ein Konzept erläutert, bei dem eine hartmagnetische Schicht in der Nähe eines magnetoresistiven Schichtstapels, insbesondere auf oder unter dem Schichtstapel, deponiert wird, die vor allem durch ihr Streufeld an die eigentlichen sensitiven Schichten des Schichtstapels ankoppelt. Dabei steht eine möglichst hohe Koerzitivität als Zielparаметer sowie andererseits das remanente Magnetfeld als beschränkender Parameter im Vordergrund. Eine solche hartmagnetische Schicht führt bei einer vertikalen Integration jedoch auch zu einem elektrischen Kurzschluss der benachbarten sensitiven Schichten des magnetoresistiven Schichtsystems, was einen erwünschten GMR-Effekt ("giant magnetoresistance") oder AMR-Effekt ("anisotropic magnetoresistance") bzw. die Sensitivität des Schichtsystems gegenüber einem äußeren, zu analysierenden Magnetfeld beschränkt.

25

30

In DE 101 40 606.1 ist beschrieben, dass zwei magnetische Schichten über eine nichtmagnetische Zwischenschicht die Richtungen ihrer jeweiligen Magnetisierungen je nach Dicke der einzelnen Schichten und deren Zusammensetzung ferromagnetisch oder antiferromagnetisch miteinander koppeln können.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung war die Bereitstellung eines magnetoresistiven Schichtsystems mit einer hohen und gleichzeitig möglichst temperaturunabhängigen Sensitivität gegenüber einem äußeren Magnetfeld.

5

#### Vorteile der Erfindung

10

Das erfindungsgemäße magnetoresistive Schichtsystem sowie das erfindungsgemäße Sensorelement mit diesem Schichtsystem hat gegenüber dem Stand der Technik den Vorteil einer innerhalb eines vorgegebenen Temperaturintervalls nur sehr geringen bzw. bevorzugt keiner nennenswerten Temperaturabhängigkeit seiner Sensitivität zur Detektion von äußeren Magnetfeldern hinsichtlich Stärke und/oder Richtung.

15

20

Bei bekannten magnetoresistiven Sensorelementen, die beispielsweise auf einem GMR-Schichtstapel nach dem Prinzip der gekoppelten Multilagen aufgebaut sind, verändert sich die maximale Sensitivität des Schichtstapels, die in der Regel bei Raumtemperatur erreicht werden soll, gegenüber einem äußeren Magnetfeld bzw. der Feldstärke dieses Magnetfeldes mit der Temperatur. Weiter verändert sich dessen Sensitivität auch als Funktion des innerhalb des Schichtstapels beispielsweise über eine integrierte hartmagnetische Schicht erzeugten Bias-Magnetfeldes oder Hilfsmagnetfeldes, so dass man zwar einen Arbeitspunkt des magnetoresistiven Schichtstapels einstellen kann, der von der Temperatur und der Stärke des Bias- oder Hilfsmagnetfeldes abhängig ist. Insgesamt führt dies dazu, dass sich der Arbeitspunkt des Sensorelementes bei vorgegebenen Bias-Magnetfeld als Funktion der Temperatur erheblich verschiebt, was in der Regel mit einem deutlichen Verlust an Sensitivität einher geht.

25

30

Bei dem erfindungsgemäßen magnetoresistiven Schichtsystem wird hingegen durch den speziellen Aufbau der Schichtanordnung, die ein resultierendes Magnetfeld erzeugt, das auf den magnetoresistiven Schichtstapel einwirkt, erreicht, dass sich die Sensitivität des magnetoresistiven Schichtsystems als Funktion der Temperatur nicht oder nur wenig verändert bzw. dass sich auch der Arbeitspunkt des magnetoresistiven Schichtsystems entsprechend nicht oder wenig verändert. Besonders vorteilhaft ist dabei, wenn die Schichtanordnung, die das Bias-Magnetfeld erzeugt, eine Temperaturabhängigkeit des erzeugten resultierenden Magnetfeldes aufweist, die die Temperaturabhängigkeit des magnetoresistiven Schichtstapels in dem magnetoresistiven

Schichtsystem gerade so kompensiert, dass der Arbeitspunkt des Schichtstapels nicht verschoben wird und/oder die Sensitivität gleich bleibt.

5 Insofern zeigt die Schichtanordnung in dem erfindungsgemäßen magnetoresistiven Schichtsystem bzw. in dem damit hergestellten Sensorelement einen Temperaturverlauf des resultierenden Magnetfeldes, der sich an den Temperaturverlauf des Arbeitspunktes des magnetoresistiven Schichtstapels anpassen lässt, während hartmagnetische Materialien, insbesondere mit hohen Curie-Temperaturen, einen intrinsischen Temperaturverlauf der Magnetisierung haben.

10 Während somit bei einer rein hartmagnetischen Schicht das darüber erzeugte Bias-Streumagnetfeld bzw. Hilfsmagnetfeld stets näherungsweise proportional zur Magnetisierung der hartmagnetischen Schicht ist, wird das resultierende Magnetfeld der erfindungsgemäß vorgesehenen Schichtanordnung vorteilhaft durch die Temperaturabhängigkeit der Zwischenschichtaustauschkopplung bestimmt.

15 So ist die Streufeldkopplung der ersten magnetischen Schicht und der zweiten magnetischen Schicht, die über die Zwischenschicht ferromagnetisch austauschgekoppelt sind, bei der vorgesehenen ferromagnetischen Zwischenschichtkopplung entgegengerichtet, d.h. in diesem Sinne antiferromagnetisch. Bei einer Abnahme der ferromagnetischen Zwischenschichtkopplung, beispielsweise durch eine Temperaturerhöhung, nimmt die antiferromagnetische Komponente relativ gesehen zu und verringert so das gesamte magnetische Streufeld der Schichtanordnung. Entsprechend verschiebt sich der zuvor eingestellte Arbeitspunkt durch die Temperaturerhöhung zu kleineren Magnetfeldern und kompensiert so eine Änderung der Sensitivität des magnetoresistiven Schichtstapels als Funktion der Temperatur. Insgesamt kann auf diese Weise  
20 die Änderung des magnetischen Streufeldes oder Bias-Magnetfeldes mit der Temperatur über die Stärke der Zwischenschichtaustauschkopplung, die eine Materialkonstante ist und damit über die gewählten Materialien bestimmt wird, sowie die Schichtdicken der ersten magnetischen Schicht und der zweiten magnetischen Schicht variiert werden.  
25

30 Bei einer Übereinstimmung der Stärke des von der Schichtanordnung erzeugten resultierenden Magnetfeldes mit einem benötigten Magnetfeldwert zur Erreichung einer maximalen Sensitivität des magnetoresistiven Schichtstapels wird vorteilhaft eine besonders hohe Sensitivität des magnetoresistiven Schichtsystems bzw. des damit erzeugten Sensorelementes erreicht. Diese bleibt dann vorteilhaft über das gesamte Temperaturintervall, dem das Schichtsystem bei Be-

trieb normalerweise ausgesetzt ist, das heißt beispielsweise das Temperaturintervall von  $-30^{\circ}\text{C}$  bis  $+200^{\circ}\text{C}$ , gleich.

Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung ergeben sich aus den in den Unteransprüchen genannten Maßnahmen.

So ist im Fall eines magnetoresistiven Schichtsystems auf der Grundlage des GMR-Effektes nach dem Prinzip der gekoppelten Multilagen oder des Spin-Valve-Prinzips mit einer dritten magnetischen Schicht und einer vierten magnetischen Schicht, die über eine zweite, nichtmagnetische Zwischenschicht voneinander getrennt sind und die zusammen den magnetoresistiven Schichtstapel bilden, besonders vorteilhaft, wenn der magnetoresistive Schichtstapel und die Schichtanordnung einen ähnlichen oder bevorzugt gleichen Temperaturgang aufweisen, was besonders leicht dadurch erreichbar ist, dass für die zweite nichtmagnetische Zwischenschicht und die nichtmagnetische Zwischenschicht der Schichtanordnung das gleiche Material benutzt wird. Auf diese Weise zeigen Schichtanordnung und magnetoresistiver Schichtstapel eine ähnliche oder gleiche Temperaturabhängigkeit, die jeweils durch die Zwischenschichtaustauschkopplung bestimmt wird.

Weiter ist vorteilhaft, dass sich die Schichtanordnung in verschiedenen Ausführungen in die Nähe des magnetoresistiven Schichtstapels bringen lässt, d.h. sie kann bei vertikaler Integration oberhalb oder unterhalb des magnetoresistiven Schichtstapels und/oder bei horizontaler Integration einseitig oder bevorzugt beidseitig neben dem magnetoresistiven Schichtstapel angeordnet sein.

Generell vorteilhaft ist schließlich, wenn die beiden magnetischen Schichten der Schichtanordnung eine unterschiedliche Dicke aufweisen.

#### Zeichnungen

Die Erfindung wird anhand der Zeichnungen und in der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert. Es zeigt Figur 1 einen Schnitt durch ein magnetoresistives Schichtsystem.

#### Ausführungsbeispiele

Die Figur 1 zeigt eine erste magnetische Schicht 12 mit einer resultierenden Magnetisierung  $m_1$  mit der in Figur 1 angedeuteten Richtung, auf der sich eine Zwischenschicht 11 befindet. Auf der Zwischenschicht 11 ist eine zweite magnetische Schicht 13 mit einer resultierenden Magnetisierung  $m_2$  mit der in Figur 1 angedeuteten Richtung angeordnet. Auf der zweiten magnetischen Schicht 13 befindet sich dann ein magnetoresistiver Schichtstapel 14, wie er aus dem Stand der Technik an sich bekannt ist. Insbesondere arbeitet der magnetoresistive Schichtstapel 14 auf der Grundlage des GMR-Effektes nach dem Prinzip der gekoppelten Multilagen oder nach dem Spin-Valve-Prinzip. Die erste magnetische Schicht 12, die Zwischenschicht 11 und die zweite magnetische Schicht 13 bilden zusammen eine Schichtanordnung 15, die ein resultierendes Magnetfeld erzeugt, das auf den magnetoresistiven Schichtstapel einwirkt. Weiter ist vorgesehen, dass die erste magnetische Schicht 12 und die zweite magnetische Schicht 13 über die Zwischenschicht 11 ferromagnetisch austauschgekoppelt sind.

Die erste magnetische Schicht 12 ist beispielsweise eine weichmagnetische Schicht, insbesondere eine Schicht aus Permalloy, CoFe, Co, Fe, Ni, FeNi sowie magnetischen Legierungen, die diese Materialien enthalten. Die zweite magnetische Schicht 13 ist beispielsweise eine hartmagnetische Schicht, insbesondere eine aus CoSm, CoCrPt, CoCrTa, Cr oder CoPt bestehende hartmagnetische Schicht. Alternativ kann die erste magnetische Schicht 12 auch eine hartmagnetische Schicht aus den genannten Materialien und die zweite magnetische Schicht 13 eine weichmagnetische Schicht aus den genannten Materialien sein. Daneben kann sowohl die erste magnetische Schicht 12 als auch die zweite magnetische Schicht 13 eine hartmagnetische Schicht aus CoSm, CoCrPt, CoCrTa, Cr oder CoPt sein.

Die Dicke der ersten magnetischen Schicht 12 unterscheidet sich von der Dicke der zweiten magnetischen Schicht 13. Bevorzugt ist die Dicke der zweiten magnetischen Schicht 13 größer als die der ersten magnetischen Schicht 12.

Die nichtmagnetische Zwischenschicht 11 besteht beispielsweise aus Kupfer, einer Legierung mit oder aus Kupfer, Silber und Gold, wie CuAgAu oder bevorzugt aus Ruthenium.

Im erläuterten Beispiel gemäß Figur 1 ist die Schichtanordnung 15 unter dem Schichtstapel 14 angeordnet. Sie kann jedoch ebenso auch darüber oder daneben angeordnet sein.

Die erste und/oder die zweite magnetische Schicht 12, 13 gemäß Figur 1 weisen jeweils eine Dicke zwischen 10 nm und 100 nm, insbesondere zwischen 20 nm und 50 nm, auf. Die Dicke der Zwischenschicht 11 ist derart gewählt, dass die erste magnetische Schicht 12 und die zweite magnetische Schicht 13 ferromagnetisch austauschgekoppelt sind. Sie beträgt beispielsweise 0,8 nm.

Die Deposition der einzelnen in Figur 1 erläuterten Schichten ist im Übrigen unkritisch gegenüber bekannten Einflussfaktoren. Insbesondere kann die gewünschte ferromagnetische Zwischenschichtaustauschkopplung mit Hilfe der nichtmagnetischen Zwischenschicht 11 über bekannte Schichtdicken der Zwischenschicht 11 eingestellt werden.

Temperaturschwankungen denen das magnetoresistive Schichtsystem 5 gemäß Figur 1 bei Betrieb, beispielsweise in einem Sensorelement zur Detektion von äußeren Magnetfeldern hinsichtlich Stärke und/oder Richtung, insbesondere in einem Kraftfahrzeug, ausgesetzt ist, liegen in der Regel im Bereich von  $-30^{\circ}\text{C}$  bis  $+200^{\circ}\text{C}$ .

Bei einer Erhöhung der Temperatur, beispielsweise ausgehend von Raumtemperatur, kommt es zunächst zu einem "Aufweichen" der ferromagnetischen Zwischenschichtaustauschkopplung zwischen der ersten magnetischen Schicht 12 und der zweiten magnetischen Schicht 13. Gleichzeitig ist die Streufeldkopplung der beiden gekoppelten magnetischen Schichten 12, 13 der ferromagnetischen Zwischenschichtaustauschkopplung entgegengerichtet. Insofern führt dieses Aufweichen der ferromagnetischen Schichtkopplung durch Temperaturerhöhung dazu, dass die entgegengerichtete Streufeldkopplung der magnetischen Schichten 12, 13 relativ gesehen zunimmt, so dass sich das gesamte Streufeld der Schichtanordnung 15, d. h. das auf den magnetoresistiven Schichtstapel 14 einwirkende resultierende Magnetfeld, verringert. Entsprechend wird der über die Schichtanordnung 15 eingestellte Arbeitspunkt des magnetoresistiven Schichtstapels 14 zu kleineren Magnetfeldern verschoben.

In Figur 1 ist dazu angedeutet, wie die erste magnetische Schicht 12 ein Streufeld  $H_1$  erzeugt, das auf den magnetoresistiven Schichtstapel 14 einwirkt, und wie die zweite magnetische Schicht 13 ein Streufeld  $H_2$  erzeugt, das ebenfalls auf den magnetoresistiven Schichtstapel 14 einwirkt.

Bei einem Aufweichen der Zwischenschichtaustauschkopplung zwischen der ersten magnetischen Schicht 12 und der zweiten magnetischen Schicht 13 verringert sich insgesamt im erläuterten Beispiel die Summe der Streufelder  $H_1$ ,  $H_2$ , d.h. das auf den magnetoresistiven Schichtstapel einwirkende resultierende Bias-Magnetfeld.

5

Sofern eine der magnetischen Schichten 12, 13 eine weichmagnetische Schicht ist, beispielsweise die zweite magnetische Schicht 13, ist es sogar möglich, die beiden Streufelder  $H_1$  und  $H_2$  derart einzustellen, dass sie sich weitestgehend gegenseitig kompensieren.

10

Abschließend sei noch erwähnt, dass sich das erläuterte Konzept für die Schichtanordnung 15 problemlos in bestehende magnetoresistive Schichtsysteme mit GMR-Multilagen, GMR-Spin-Valve-Aufbau und AMR-Schichtsysteme bzw. CMR-Schichtsysteme ("colossal magnetoresistance") einfügen lässt. Zudem sei noch darauf hingewiesen, dass sich das magnetoresistive Schichtsystem 5 gemäß Figur 1 typischerweise auf einem Substrat befindet und mit diesem Substrat über eine sogenannte Buffer-Schicht verbunden ist. Weiter kann sich auf dem magnetoresistiven Schichtstapel 14 auch noch eine Deckschicht, beispielsweise aus Tantal, befinden.

15



24.10.02 Kut/Kei

ROBERT BOSCH GMBH, 70442 Stuttgart

5 Patentansprüche

10 1. Magneto-resistives Schichtsystem, wobei in einer Umgebung eines insbesondere auf der Grundlage des GMR- oder AMR-Effektes arbeitenden magneto-resistiven Schichtstapels (14) mindestens eine Schichtanordnung (15) vorgesehen ist, die ein resultierendes Magnetfeld erzeugt, das auf den magneto-resistiven Schichtstapel (14) einwirkt, dadurch gekennzeichnet, dass die Schichtanordnung (15) eine erste magnetische Schicht (12) und eine zweite magnetische Schicht (13) aufweist, die über eine nichtmagnetische Zwischenschicht (11) voneinander getrennt sind, und dass die erste magnetische Schicht (12) und die zweite magnetische Schicht (13) über die Zwischenschicht (11) ferromagnetisch austauschgekoppelt sind.

15 2. Magneto-resistives Schichtsystem nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die erste magnetische Schicht (12) eine weichmagnetische Schicht, insbesondere eine aus Permalloy, CoFe, Co, Fe, Ni, FeNi sowie magnetischen Legierungen, die diese Materialien beinhalten, bestehende weichmagnetische Schicht, und die zweite magnetische Schicht (13) eine hartmagnetische Schicht, insbesondere eine aus CoSm, CoCrPt, CoCrTa, Cr oder CoPt bestehende hartmagnetische Schicht, ist, oder dass erste magnetische Schicht (12) eine hartmagnetische Schicht, insbesondere eine aus CoSm, CoCrPt, CoCrTa, Cr oder CoPt bestehende hartmagnetische Schicht, und die zweite magnetische Schicht (13) eine weichmagnetische Schicht, insbesondere eine aus Permalloy, CoFe, Co, Fe, Ni, FeNi sowie magnetischen Legierungen, die diese Materialien beinhalten, bestehende weichmagnetische Schicht, ist.

20 3. Magneto-resistives Schichtsystem nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die erste magnetische Schicht (12) und die zweite magnetische Schicht (13) eine hartmagnetische Schicht, insbesondere eine aus CoSm, CoCrPt, CoCrTa, Cr oder CoPt bestehende hartmagnetische Schicht, ist.

25 30 4. Magneto-resistives Schichtsystem nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die erste magnetische Schicht (12) eine von der zweiten magnetischen Schicht (13) verschiedene Dicke aufweist.

5.        Magnetoresistives Schichtsystem nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Schichtstapel (14) eine dritte magnetische Schicht und eine vierte magnetische Schicht aufweist, die über eine zweite nichtmagnetische Zwischenschicht voneinander getrennt sind, und dass die nichtmagnetische Zwischenschicht (11) der Schichtanordnung (15) und die zweite nichtmagnetische Zwischenschicht des Schichtstapels (14) zumindest näherungsweise aus dem gleichen Material bestehen und/oder eine zumindest näherungsweise gleiche Dicke aufweisen.

6.        Magnetoresistives Schichtsystem nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die nichtmagnetische Zwischenschicht (11) aus Kupfer, einer Legierung mit oder aus Kupfer, Silber und Gold oder aus Ruthenium besteht.

7.        Magnetoresistives Schichtsystem nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Schichtanordnung (15) auf und/oder unter und/oder neben dem Schichtstapel (14) angeordnet ist.

8.        Magnetoresistives Schichtsystem nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die erste und/oder die zweite magnetische Schicht (12, 13) eine Dicke zwischen 10 nm und 100 nm, insbesondere 20 nm bis 50 nm, aufweist.

9.        Magnetoresistives Schichtsystem nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass bei einer Änderung der Temperatur, dem das magnetoresistive Schichtsystem (5) ausgesetzt ist, innerhalb eines vorgegebenen Temperaturintervalls von insbesondere  $-30^{\circ}\text{C}$  bis  $+200^{\circ}\text{C}$  eine sich ändernde Sensitivität oder ein sich verschiebender Arbeitspunkt des magnetoresistiven Schichtstapels (14) gegenüber einem hinsichtlich Stärke und/oder Richtung zu messenden äußeren Magnetfeld zumindest teilweise durch das sich durch diese Temperaturänderung ebenfalls ändernde, von der Schichtanordnung (15) erzeugte resultierende Magnetfeld zumindest teilweise, insbesondere vollständig, kompensiert wird.

10.       Sensorelement, insbesondere zu Detektion von Magnetfeldern hinsichtlich Stärke und/oder Richtung, mit einem magnetoresistiven Schichtsystem (5) nach einem der vorangehenden Ansprüche.

24.10.02 Kut/Kei

ROBERT BOSCH GMBH, 70442 Stuttgart

5

Magnetoresistives Schichtsystem und Sensorelement mit diesem Schichtsystem

Zusammenfassung

10

15

20

Es wird ein magnetoresistives Schichtsystem (5) vorgeschlagen, wobei in einer Umgebung eines insbesondere auf der Grundlage des GMR- oder AMR-Effektes arbeitenden magnetoresistiven Schichtstapels (14) eine Schichtanordnung (15) vorgesehen ist, die ein resultierendes Magnetfeld erzeugt, das auf den magnetoresistiven Schichtstapel (14) einwirkt. Die Schichtanordnung (15) weist eine erste magnetische Schicht (12) und eine zweite magnetische Schicht (13) auf, die über eine nichtmagnetische Zwischenschicht (11) voneinander getrennt und über die Zwischenschicht (11) ferromagnetisch austauschgekoppelt sind. Weiter wird ein Sensorelement insbesondere zu Detektion von Magnetfeldern hinsichtlich Stärke und/oder Richtung mit einem solchen Schichtsystem (5) vorgeschlagen.

Figur 1

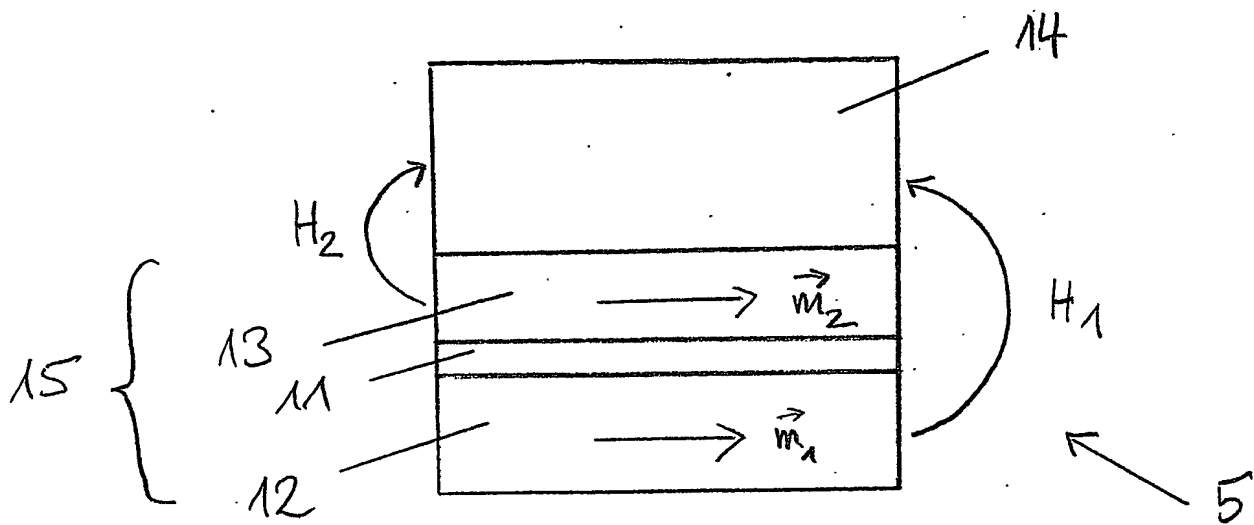


Fig. 1

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☒ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**